# 2.7 全体挙動および支承への影響解析

### 2.7.1 目的

これまでの調査の結果、ローラーとの接触面から繰り返し作用により損傷が進行したこと、ロ ーラーがガイドに接触していたこと、下部構造には温度変化に伴った橋軸方向の変位が生じてい たことが分かっている。これらのことから、桁の温度伸縮により可動支承は自由に移動すること ができずに可動方向にも拘束状態にあり、桁の動きが支承部で拘束されたことにより生じる反力 が支承を介して下部構造へ伝達していたものと考えられる。

各支承部では、支承の可動方向と桁の伸縮方向が異なることで温度変化等によってローラーが ガイド部に接触し、橋軸方向へも拘束が生じていたと考えられる。よって、損傷前の状態をなる べく想定した支承の可動方向に拘束を考慮したモデルにより数値解析を行い、支承部への作用力 を確認した。なお、温度により拘束された支承部には風や活荷重といった変動荷重により、さら に反力が発生すると考えられるが、本解析では温度変化等による拘束によって生じる支承の反力 確認を目的とした。

なお、その全体挙動解析モデルにより算出された支承部の反力を用いて、支承部のみを取り出 してソリッド要素による支承部への影響解析を参考として実施し、支圧板に生じる応力集中を確 認した。図 2.7-1 に全体挙動および支承への影響解析の概要を示す。



図 2.7-1 全体挙動および支承への影響解析の概要

# 2.7.2 方法

(1) モデル化

桁の複雑な形状、温度差による上部構造の挙動と橋脚の2軸曲げの影響評価のため、桁はシェ ル要素、支承はばね要素(軸可動、直角固定)でモデル化した。以下に条件を示す。

- ・モデル化範囲は、7 径間連続鋼床版曲線箱桁の支承を含む上部構造および下部構造(橋台、 橋脚)とする。
- ・主構造はシェル要素でモデル化する。
- ・鋼床版Uリブおよび下フランジリブ、ダイヤフラム、横リブ、補剛材(支承位置)、歩道部 および歩道ブラケットもモデル化し、橋台部のカウンターウェイトの重量も考慮する。
- ・要素サイズは一般部で500mm程度とし、支承近傍については100mm程度に細かく設定する。
- ・平面線形および縦断勾配は、線形図よりセクションの間を直線補間して考慮する。
- ・横断勾配は考慮するものとし、最大勾配を2%とする。
- ・その他、解析結果への影響が少ない付属物や副部材、構造仕様(壁高欄、地覆、人孔、添接 板、垂直補剛材、水平補剛材、スカーラップ)はモデル化しない。
- ・橋脚などの下部構造もファイバー要素でモデル化する。
- ・基礎は、集約ばねでモデル化する。
- ・節点数、要素数: (節点) 1,036,784、(要素): 1,076,662
- ・解析に用いる汎用ソフトは、DIANA10.5 (DIANA FEA 社)とする。
- ・解析に用いる要素種類を表 2.7-1 および表 2.7-2 に示し、解析モデルを図 2.7-2 に示す。

部位	使用要素	要素タイプ	備考
構造	一般曲面シェル	Q20SH(4 角形) T15SH(3 角形)	_
支承(バネ要素)	節点バネ	N12SPR	剛梁と節点バネで 簡易的にモデル化
剛梁	梁要素	L13BE	通常の梁要素に断面積と ヤング係数を剛値として設定

表 2.7-1 解析に用いる要素種類(上部構造、支承)

表 2.7-2 解析に用いる要素種類(下部構造)

	部位	使用要素	備考
	パラペット	線形梁要素	ファイバー
橋台	竪壁	線形梁要素	ファイバー
	フーチング	線形梁要素(剛)	ファイバー
括即	柱部	線形梁要素	ファイバー
们前加中	フーチング	線形梁要素(剛)	ファイバー
	深礎杭(A1)	線形ばね要素(非対称ばね)	-
基礎構造	鋼管矢板基礎(P1、P2)	線形ばね要素 (集約ばね)	-
	場所打杭 (P3、P4、P5、P6、A2)	線形ばね要素(集約ばね)	-



図 2.7-2 解析モデル

### (2) 解析ケース

全体挙動調査の結果を踏まえて、応急対策実施前を想定したモデルを構築するために、表 2.7-3 に示す「CASE-1:橋軸方向可動モデル」、「CASE-2:直角方向ギャップ考慮モデル」、「CASE-3:橋軸方向拘束ばねモデル」の3ケースで全体解析を実施した。全体解析の荷重条件は、全体 挙動調査結果を参考に、温度変化(全体+10℃)+温度差(鋼床版+20℃)とした。ただし、解析 と調査との整合性が高い結果が得られた CASE-3 については、以下に示す温度変化と温度差およ びそれらの組合せによる複数のケースでの数値解析を実施した。

- ①死荷重
- ②全体温度変化(全体+10℃)
- ③上下温度差(鋼床版+20℃)
- ④左右温度差(左ウェブ+15℃)
- ⑤左右温度差(右ウェブ+15℃)
- ⑥組合せ1(②全体+10℃+③鋼床版+20℃)
- ⑦組合せ2(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)
- ⑧組合せ3(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)
- ⑨組合せ3(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃)
- ⑩組合せ4(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)
- ⑪組合せ5(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)

また、表 2.7-4 に支承部への影響検討の概要を示すが、検討1として、支承高が高いことに より生じる偶力を考慮した支圧板に発生する応力度を計算した。なお、検討2の支承部詳細モデ ルは、支圧板に生じる応力度を確認するために参考として実施した。

CA	SE	CASE-1	CASE-2	CASE-3
名	称	橋軸方向可動モデル	直角方向ギャップ考慮 モデル	橋軸方向拘束ばねモデル
ケ- 概	ース 一要	橋軸方向には自由に移動す ることができ、直角方向に は固定されたケース。温度 伸縮により支承の変位が拘 束される影響は未考慮。	ローラーとガイド間にある 橋軸直角方向の遊間を考慮 したケース。各支点部で接 触するタイミングに差が生 じ、段階的に拘束される。	橋軸方向に拘束ばねを考慮 したケース。直角方向は固 定とした。ギャップは設け ないため、支承の変位に伴 い拘束が生じる。
概要	要図	橋軸:可動 直角:固定 直角:固定	橋軸: 直角方向に 2.5mm 移動するまでは可動⇒固定 2.5mm 可動 直角: 2.5mm 可動 ・→固定 →固定 →固定 動するまでは可動→固定	橋軸:拘束ばね 直角:固定 「一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一
拘す	橋軸	可動	直角方向に 2.5mm のギャップ接 触前は可動、接触後は固定 P δ ←→ ο ω β β δ α β β δ β δ δ δ δ δ δ δ δ δ δ δ δ δ	拘束ばね P μN K=3.16×10 <sup>6</sup> kN/m δm μ : 鋼材同士の摩擦係数(μ=0.5) N : P4 支承の直角反力(解析值) δm:P4 支承の軸方向変位(計測値)
个条 件	直角	固定	直角方向に 2.5mm のギャップ接 触前は可動、接触後は固定 P	固定

表 2.7-3 全体解析の検討ケース

表 2.7-4 支承部への影響検討

検討	着目	概要
1	支圧板応力	全体解析の CASE-3_橋軸方向拘束ばねモデルで算出した反力より、 支承高を考慮して支圧板に作用する応力を確認する。
2 (参考)	支圧板応力 (ソリッド モデル)	全体解析の CASE-3_橋軸方向拘束ばねモデルで算出した反力を支承 部のみをとりだした支承部詳細モデルに与えて、支承部材に発生す る応力を確認する。

### 2.7.3 橋軸方向可動モデルの数値解析: CASE-1

#### (1) 解析概要

本解析では支承はバネ要素でモデル化し、橋軸方向(主桁接線方向)可動、直角方向固定とした。変動作用としては、温度変化と温度差を考慮した。現地調査の結果より、全体の温度変化は +10℃、鋼床版とその他部材の温度差を+20℃とした。

・支承部のモデル化:橋軸方向(主桁接線方向)可動、直角方向固定

・荷重条件:温度変化(全体+10℃)+温度差(鋼床版+20℃)とし、20step 刻みで載荷

解析の妥当性の確認のため、支承部が拘束され下部構造に水平力が伝達することにより生じる 橋軸方向の下部構造変位について、解析結果と現地計測結果の比較を行った。なお、現地計測時 は、P5(左)支承、P6(右)支承、A2(右)支承は応急対策を実施済であり、支点条件が損傷前 より変わっているため、応急対策の影響が小さいと考えられる P4 橋脚の下部構造変位で確認を 行った。

#### (2) 解析結果

表 2.7-5 に示すとおり、数値解析結果は下部構造変位が 0mm であり、与えた条件どおりに、 桁は接線方向に動いてしまう。橋軸方向を可動とした数値解析モデルでは、橋軸方向に水平力は 発生しないため、拘束状態であったと考えられる損傷前の状態を再現できているとはいえない。 よって、支承部に拘束を考慮できるモデルを作成し全体解析を実施する。

表 2.7-5 P4 橋脚の支承変位および下部構造変位(橋軸方向可動考慮モデル: CASE-1)

		数値解析	現地計測
下部構造変位	橋軸	0.0 mm	9.1 mm

### 2.7.4 直角方向にギャップを設定し橋軸方向固定とした全体解析: CASE-2

(1) 解析概要

橋軸方向を可動とした数値解析モデル: CASE-1 では、橋軸方向に水平力は発生しないため、拘 束状態であったと考えられる損傷前の状態を再現できているとはいえない。そのため、橋軸方向 に拘束ばねを考慮し、下部構造に変位が生じるモデルとした。

ローラーとガイド間には橋軸直角方向に遊間がある。また、本橋は桁の伸縮方向と支承の設置 方向の相違により生じる直角方向への変位が各支点位置で異なる。そのため、各支点部でローラ ーがガイド部に接触するタイミングに差が生じ、段階的に拘束されていくと考えられる。よって、 支承の直角方向の遊間および接触による拘束を考慮するモデルで温度変化等の作用を考慮した 数値解析を実施した。

図 2.7-3 に示すようにローラー支承の可動方向と桁の伸縮方向が一致しない場合には、ロー ラー支承の支承条件は橋軸直角方向に(a)可動から(b)固定に移行し、それに伴って橋軸方向にも 拘束が生じるものと考えられる。従って、この影響を考慮できるよう、支点部条件を変更して軸 方向の拘束効果およびこれ伴う構造系の変化を検討した。なお、荷重条件は、温度変化+10℃お よび温度差+20℃とし、20step 刻みで載荷する。

- ・支承部のモデル化: 図 2.7-4 に示すようにローラーとガイド間の直角方向の遊間(ギャップ)を設定し、橋軸方向および直角方向ともに、非接触までは可動条件、接触後は固定条件
- ・荷重条件:温度変化(全体+10℃)+温度差(鋼床版+20℃)とし、20step 刻みで載荷



図 2.7-3 支承可動方向と桁伸縮方向のずれ

図 2.7-4 橋軸方向および橋軸直角方向の支 承ばねの荷重変位関係

# (a) ローラーとガイドが非接触

図 2.7-5 に示すようにローラーとガイド間では、橋軸直角方向に 2.5mm の遊間があるため、遊間内で直角方向には可動条件となる。



 $\delta = (85 - 80) / 2 = 2.5 \text{mm}$ 

図 2.7-5 既設ローラー支承図面

(b) ローラーとガイドが接触

図 2.7-6 に示すようにローラーが橋軸直角方向に 5mm 以上移動することで、遊間がなくなり、橋軸直角方向には固定となる。これに伴い、橋軸方向でも摩擦による拘束が生じるため、接触後は固定条件とした。



図 2.7-6 ローラーとガイドの接触イメージ

## (2) 解析結果

### 1) 支承の拘束条件の推移

表 2.7-6 に温度変化に伴う橋軸方向の支承拘束条件の推移を示す。着色箇所は対象支承で初 めの支承の拘束が生じたステップを示す。表より、各支承部は同時に固定条件とはならず、順番 に固定条件になる。図 2.7-7 に温度変化に伴う支承部拘束のタイミングを示す。最初に STEP6 (温度変化+3.0℃、温度差+6.0℃)で、P6 橋脚の右側支承に拘束が生じ、次に STEP7(温度変化 +3.5℃、温度差+7.0℃)で、A1 橋台の左側支承とP4 橋脚、P5 橋脚の右側支承に拘束が生じてい ることから、桁端部に近い支承部が先に固定条件となることが分かる。

図 2.7-8 に、STEP5、STEP10、STEP15、STEP20の支承部の水平反力ベクトルと上部構造の変形 モードを示す。ステップ数が増えるにつれ、曲線の外側に広がるような挙動が確認でき、曲線桁 は曲線の外側に倒れ込むように変形し、固定支承である P3 橋脚より終点側は、曲線の外側の支 承が先に固定条件となる。

STE	EP	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4	STEP 5	STEP 6	STEP 7	STEP 8	STEP 9	STEP 10
温度了	変化	+0.5°C	+1.0°C	+1.5°C	+2.0°C	+2.5°C	+3.0°C	+3.5°C	+4.0°C	+4.5°C	+5.0°C
温度	差	+1.0°C	+2.0°C	+3.0°C	+4.0°C	+5.0°C	+6.0°C	+7.0°C	+8.0°C	+9.0°C	+10.0°C
Δ1	L	Mov	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	FIX	MOV	MOV	Mov
/\L	R	Mov	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	MOV	MOV	MOV
P1	L	Mov	Mov	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	MOV	MOV	Mov
11	R	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	FIX	FIX	FIX
P2	L	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	MOV	MOV	Mov
12	R	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	FIX	FIX	FIX
Р3	L R										
D4	L	Mov	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	Mov	MOV	Mov
Г4	R	Mov	Mov	Mov	MOV	Mov	Mov	FIX	FIX	FIX	FIX
DE	L	Mov	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	Mov	MOV	FIX
гэ	R	Mov	Mov	Mov	Mov	Mov	Mov	FIX	FIX	FIX	FIX
DG	L	Mov	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	Mov	MOV	MOV
FU	R	Mov	Mov	Mov	MOV	Mov	FIX	FIX	FIX	FIX	FIX
Δ2	L	Mov	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	MOV	MOV	Mov
/\2	R	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV	Mov	Mov	MOV	MOV	Mov
STE	ĒP	STEP 11	STEP 12	STEP 13	STEP 14	STEP 15	STEP 16	STEP 17	STEP 18	STEP 19	STEP 20
STE 温度	EP 変化	STEP 11 +5.5°C	STEP 12 +6.0°C	STEP 13 +6.5°C	STEP 14 +7.0°C	STEP 15 +7.5°C	STEP 16 +8.0°C	STEP 17 +8.5°C	STEP 18 +9.0°C	STEP 19 +9.5°C	STEP 20 +10°C
STE 温度 温度	P 変化 差	STEP 11 +5.5°C +11.0°C	STEP 12 +6.0°C +12.0°C	STEP 13 +6.5°C +13.0°C	STEP 14 +7.0°C +14.0°C	STEP 15 +7.5°C +15.0°C	STEP 16 +8.0°C +16.0°C	STEP 17 +8.5°C +17.0°C	STEP 18 +9.0°C +18.0°C	STEP 19 +9.5°C +19.0°C	STEP 20 +10°C +20°C
STE 温度 温度 A1	P 変化 差	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX
STE 温度 温度 A1	EP 変化 差 L R	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV
STE 温度 温度 A1 P1	P 変化 差 L R L	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV MOV	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV
STE 温度 温度 A1 P1	P 変化 差 L R L R	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV MOV FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV MOV FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV MOV FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV MOV FIX
STE 温度 温度 A1 P1 P2	P 変化 差 L R L R L	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV MOV FIX MOV	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV MOV FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2	P 変化 差 L R L R L R	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2 P3	P 変化 差 L R L R L R L R L R	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2 P3	P 変化 差 L R L R L R L R L R	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2 P3 P4	P 変化 差 L R L R L R L R L R L R L R L R L R	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2 P3 P4	P 変化 差 L R L R L R L R L R L R L R L R L R L	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2 P3 P4 P5	P 変差 L R L R L R L R L R L R L R L R L R L	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX
STE 温度 温度 A1 P1 P2 P3 P4 P5	P 変差 L R L R L R L R L R L R L R L R L	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2 P3 P4 P5 P6	P 変化 差 L R L R L R L R L R L R L R L R L R L	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 12 +6.0°C +12.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX
STE 温度 A1 P1 P2 P3 P4 P5 P6	P 変化 差 L R L R L R L R L R L R L R L R L R L	STEP 11 +5.5°C +11.0°C MOV MOV FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 12           +6.0°C           +12.0°C           MOV           MOV           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           MOV           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           FIX           MOV	STEP 13 +6.5°C +13.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 14 +7.0°C +14.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 15 +7.5°C +15.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 16 +8.0°C +16.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 17 +8.5°C +17.0°C MOV MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 18 +9.0°C +18.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 19 +9.5°C +19.0°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX	STEP 20 +10°C +20°C FIX MOV FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX FIX

表 2.7-6 温度変化に伴う橋軸方向の支承拘束条件の推移: CASE-2

※2:L曲線の内側、R曲線の外側



図 2.7-7 温度変化に伴う支承部拘束のタイミング: CASE-2

<sup>※1:</sup>着色箇所は対象支承で初めに拘束が生じたステップ



図 2.7-8 支承部の水平反力ベクトルと上部構造の変形モード(平面、変形倍率 2,000 倍): CASE-2

## 2) 下部構造変位の確認

橋軸方向可動モデルでの解析妥当性の確認と同様に、応急対策の影響が小さいと考えられる P4 橋脚の橋軸方向の下部構造変位で確認を行った。

表 2.7-7 に示すとおり、数値解析結果と現地計測結果は一致しない。橋軸方向の現地計測結 果 9.1mm に対して、数値解析結果が 3.0mm である。数値解析モデルでは、ローラーとガイドのギ ャップを 2.5mm と設定しているため、ローラーとガイドが接触するまで(直角方向に 2.5mm 変位 が生じるまで)は橋軸および橋軸直角方向ともに可動、接触後は両方向ともに固定となるが、実 際には、数値解析結果よりも大きな水平力が作用しているものと考えられる。つまり、ローラー とガイドが接触前から、抵抗していると考えられる。

よって、支承部にはギャップを設けず、当初から橋軸方向に拘束があるモデルとして全体解析 を実施する。

		数値解析	現地計測				
下部構造変位	橋軸	3.0 mm	9.1 mm				

## 表 2.7-7 P4 橋脚の支承変位および下部構造変位(直角方向ギャップ考慮モデル: CASE-2)

# 2.7.5 橋軸方向拘束ばねを考慮した全体解析: CASE-3

(1) 解析概要

ローラーとガイドに直角方向のギャップを設けたモデル: CASE-2 では、下部構造変位の解析 結果と現地計測結果が一致しなかったため、支承部にはギャップを設けず、橋軸方向ばねを用い たモデルでの全体モデルでの解析を行った。なお、橋軸直角方向は固定とした。

- ・支承部のモデル化:応急対策の影響が小さいと考えられる P4 支承の軸変位 δm(計測値) と直角方向反力 μNから、ばね剛性を設定。橋軸方向の支承ばねの荷重変位関係を図 2.7-9 に示す。
- ・荷重条件(下部構造変位確認の解析):温度変化(全体+10℃)+温度差(鋼床版+20℃)



図 2.7-9 橋軸方向の支承ばねの荷重変位関係

#### (2) 解析結果

#### 1) 下部構造変位の確認

橋軸方向可動モデルでの解析妥当性の確認と同様に、応急対策の影響が小さいと考えられる P4 橋脚の橋軸方向の下部構造変位で確認を行った。表 2.7-8 に示すとおり、数値解析結果は 6.3mm であり、現地計測結果は9.1mm (2022/6/16 の4時から17時)のため、3mm 程度の差があ った。本解析では直角方向にローラーとガイドが接触し拘束されることを想定したが、支圧板と の接触面にも摩擦が生じるため、設定以上の拘束が生じていた可能性がある。そのため、実際に はより拘束による影響が大きく、大きな支承反力が生じている可能性がある。

表 2.7-8 P4 橋脚の支承変位および下部構造変位(橋軸方向拘束ばねモデル) CASE-3

		数値解析	現地計測				
下部構造変位	橋軸	6.3 mm	9.1 mm				

### 2) 温度変化、温度差およびその組合せにより発生する反力

温度変化と温度差およびそれらの組合せによる以下に示す複数の荷重ケースでの数値解析を 実施した。

- ①死荷重
- ②全体温度変化(全体+10℃)
- ③上下温度差(鋼床版+20℃)
- ④左右温度差(左ウェブ+15℃)
- ⑤左右温度差(右ウェブ+15℃)
- ⑥組合せ1(②全体+10℃+③鋼床版+20℃)
- ⑦組合せ2(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)
- ⑧組合せ3(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)
- ⑨組合せ4(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃)
- ⑩組合せ5(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)
- ①組合せ6(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)

個別に温度を付与したケースについて、図 2.7-10 に鉛直反力、図 2.7-11 に水平反力(桁方 向)、図 2.7-12 に水平反力(桁直角方向)の結果を示す。死荷重を含めた組合せのケースにつ いて、図 2.7-13 に鉛直反力、図 2.7-14 に水平反力(桁方向)、図 2.7-15 に水平反力(桁直角 方向)の結果を示す。それぞれの図には、死荷重反力に対する発生反力の比率示す。また、各荷 重ケースにおける支承反力を表 2.7-9 に示し、各荷重ケースの死荷重反力に対する割合を表 2.7-10 を示す。図 2.7-16 には各方向の符号の向きを示す。

以降に結果を示す。

- ・図 2.7-10 に示す個別に温度を付与したケースの鉛直反力より、②温度変化(全体+10℃)、 ③上下温度差(鋼床版+20℃)、④左右温度差(左ウェブ+15℃)、⑤左右温度差(右ウェブ +15℃)を比べると、鉛直反力の発生は、③上下温度差(鋼床版+20℃)の影響が一番大きい。 特に P2~P5 間で、表 2.7-10 に示すとおり、死荷重反力の 25%程度の鉛直反力が発生する。 左右支承に着目すると、②温度変化(全体+10℃)、③上下温度差(鋼床版+20℃)、④左右 温度差(左ウェブ+15℃)では、その符号は桁端部の橋台を除き、左(曲線の内側)が+(上 向き)、右(曲線の外側)が-(下向き)となり、曲線の外側に倒れこむような挙動となっ ていると考えられる。⑤左右温度差(右ウェブ+15℃)では、左(曲線の内側)が-(下向 き)、右(曲線の外側)が+(上向き)となる。
- ・②温度変化(全体+10℃)および③上下温度差(鋼床版+20℃)は、図 2.7-11 に示すように 橋台部で大きな水平反力(桁方向)が生じる。
- ・図 2.7-12 に示すように直角方向反力の発生は、②温度変化(全体+10℃)が最も大きい。
- ・④左右温度差(左ウェブ+15℃)は、他のケースと比べて反力の発生は小さい。
- ・⑥組合せ1(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃)および⑦組合せ2(②全体+10℃ + ③鋼床版 +20℃ + ④左ウェブ+15℃)で生じる鉛直反力は、表 2.7-9より、それぞれのケースで得ら れた解析値を足し合わせた値より大きくなる。一方で、⑧組合せ3(②全体+10℃ + ③鋼床 版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)は個別に温度を付与した結果において、支配的となる③上下 温度差(鋼床版+20℃)と左右支承で発生する鉛直反力の符号が逆転するため、足し合せた 値より小さくなる。
- ・温度の影響により発生する鉛直反力と死荷重反力の比率は、図 2.7-13より、P3 橋脚および P5 橋脚で最大 136%となり、鉛直力は 30%以上の増加となる。
- ・温度の影響により水平方向(桁方向)と死荷重反力の比率は、図 2.7-14より、橋脚では6 ~22%である。本来は可動支承のため桁方向水平力は発生しないと考えられるが、実挙動を 再現した橋軸方向拘束ばねを考慮したモデルにより、桁方向水平力の発生が発生する。
- ・温度の影響により発生する水平方向(桁直角方向)と死荷重反力の比率は、図 2.7-15より、 8~35%である。
- ・表 2.7-9より、①死荷重で発生する反力と⑥組合せ1(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃)、
  ⑦組合せ2(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)、⑧組合せ3(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)で発生する反力を足し合せると、それぞれ、⑨組合 せ4(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④右ウェブ+15℃)、①組合せ6(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)で発生する反力とほぼ同じ値となる。
- ・図 2.7-17に⑦組合せ2(②全体温度変化+③上下温度差+④左右温度差)における水平反力の発生方向を示す。桁方向反力に着目すると、P1・P2・P4・P5では、左側支承と右側支承で発生する水平力の方向は反対向きとなっており回転するような挙動となっていることが分かる。また、直角方向の水平力は左右支承ともに曲線の外側方向に発生していることから、ねじれながら曲線の外側に倒れこむような挙動となっていると考えられる。



個別に温度を付与したケースにおける水平反力(桁方向) 2000 1500 桁方向反力(kN) 1000 500 0 P4 Ρ1 Ρ3 Ρ5 P6 A1 Ρ2 A2 ■②温度変化(全体+10°C) ■③上下温度差(鋼床版+20°C) ■④左右温度差(左ウェブ+15°C) ■⑤左右温度差(右ウェブ+15°C)

図 2.7-10 個別に温度を付与したケースにおける鉛直反力(鉛直下方向): CASE-3

図 2.7-11 個別に温度を付与したケースにおける水平反力(桁方向): CASE-3



図 2.7-12 個別に温度を付与したケースにおける水平反力(桁直角方向): CASE-3





図 2.7-13 組合せのケースにおける鉛直反力(鉛直下方向): CASE-3



図 2.7-14 組合せのケースにおける水平反力(桁方向): CASE-3

図 2.7-15 組合せのケースにおける水平反力(桁直角方向): CASE-3

		支承反力 (kN)																																	
		①死荷重 (死荷重のみ)②温度変化 (全体+10℃)③上下温度差 (鋼床版+20℃)④左右温度差 (左ウェブ+15℃)⑤左右温度差 (右ウェブ+15℃)⑥組合せ1 (②+③)⑦組合せ2 (②+③)⑧組合せ3 (②+③+⑤)⑨組合せ4 (①+②+③)⑩組合せ5 (①+②+③+④)⑪組合せ6 (①+②+③+④)																																	
		鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	
Δ1	L	-1967	0	0	3	-2000	751	-174	-1953	-241	-17	-501	-45	75	-168	30	-257	-4929	390	-274	-5431	345	-266	-5097	420	-2225	-4929	390	-2241	-5431	345	-2233	-5097	420	
111	R	-1985	0	0	-37	-1907	-643	-271	-1875	353	-16	-80	-10	140	-558	66	-443	-4719	-113	-459	-4799	-123	-475	-5278	-47	-2428	-4719	-113	-2444	-4799	-123	-2460	-5278	-47	A
P1	L	-5953	0	0	52	154	73	881	59	-428	58	107	-12	-406	-70	-109	1374	243	-570	1432	350	-582	1461	173	-679	-4578	243	-570	-4520	350	-582	-4491	173	-679	
11	R	-6698	0	0	-96	-425	-696	-455	-603	-224	-34	-156	0	266	-14	-97	-779	-1330	-1033	-812	-1486	-1033	-836	-1343	-1130	-7476	-1330	-1033	-7511	-1486	-1033	-7534	-1343	-1130	
P2	L	-7151	0	0	169	-142	-362	1652	-172	-695	149	-47	-112	-847	-12	-113	2647	-400	-1404	2795	-447	-1517	2795	-413	-1517	-4504	-400	-1404	-4356	-448	-1516	-4356	-413	-1517	
12	R	-6428	0	0	-95	41	-883	-1667	69	-566	-141	24	-97	790	-3	-96	-2595	144	-1733	-2735	168	-1829	-2733	141	-1828	-9023	144	-1733	-9164	169	-1830	-9161	141	-1828	l
P3	L	-5965	0	0	210	201	9	1442	255	-893	107	45	-94	-776	23	-152	2373	583	-1330	2480	628	-1424	2527	607	-1481	-3591	583	-1331	-3485	629	-1422	-3438	607	-1481	
10	R	-5637	0	0	-206	293	-1243	-1411	351	-466	-109	33	-75	756	74	-129	-2322	819	-1942	-2432	851	-2018	-2478	891	-2071	-7959	818	-1942	-8069	850	-2020	-8115	891	-2071	1
P4	L	-6402	0	0	-121	283	-241	1539	373	-544	124	47	-87	-539	71	-92	2187	843	-1058	2312	890	-1144	2298	914	-1149	-4215	841	-1057	-4089	889	-1145	-4105	914	-1149	
1 1	R	-6624	0	0	170	-218	-758	-1499	-180	-405	-115	-26	-71	481	-44	-75	-2079	-488	-1366	-2193	-513	-1436	-2178	-531	-1441	-8702	-486	-1366	-8819	-513	-1437	-8802	-531	-1441	
P5	L	-7542	0	0	-2	-182	-287	1749	-212	-619	158	-24	-92	-739	-48	-114	2623	-500	-1217	2780	-523	-1309	2755	-546	-1330	-4920	-499	-1216	-4761	-524	-1310	-4786	-546	-1330	
10	R	-6927	0	0	96	315	-818	-1603	294	-482	-139	28	-76	596	65	-97	-2308	756	-1541	-2447	783	-1617	-2417	820	-1637	-9235	755	-1541	-9376	784	-1616	-9344	820	-1637	1
P6	L	-5087	0	0	69	37	185	570	133	-164	63	-59	7	-313	72	-54	923	236	-61	988	177	-54	965	307	-115	-4163	236	-61	-4100	176	-53	-4121	307	-115	
10	R	-5528	0	0	-49	361	-376	-338	487	-29	-44	116	22	198	17	-39	-556	1092	-419	-601	1208	-398	-577	1109	-459	-6084	1092	-419	-6129	1208	-398	-6105	1109	-459	
Δ2	L	-1878	0	0	-59	1623	506	-156	1508	-160	-27	454	-38	127	100	20	-293	3885	265	-321	4341	227	-303	3986	284	-2171	3886	265	-2199	4341	226	-2182	3986	284	
112	R	-1921	0	0	-106	1564	-475	-260	1467	191	-18	38	-14	192	497	43	-496	3765	-188	-513	3804	-201	-539	4262	-145	-2417	3765	-188	-2434	3803	-201	-2460	4262	-145	

# 表 2.7-9 各荷重ケースにおける支承反力 : CASE-3

# 表 2.7-10 各荷重ケースの支承反力の死荷重反力に対する割合: CASE-3

		死何重時の鉛直反力に対する割台(%)																																
		〔 (死	)死荷重 荷重の	重 み)	②ì (全	昷度変 体+10	É化 ℃)	③上 (鋼月	③上下温度差 (鋼床版+20℃) (		④左右温度差 (左ウェブ+15℃)			⑤左 (右ウ	⑤左右温度差 (右ウェブ+15℃)		<ul><li>⑥組合せ1</li><li>(②+③)</li></ul>		⑦組合せ2 (②+③+④)		<ul><li>⑧組合せ3</li><li>(②+③+⑤)</li></ul>		:3 ))	<ul><li>⑨組合せ4</li><li>(①+②+③)</li></ul>			<ul><li>⑩組合せ5</li><li>(①+②+③+④)</li></ul>			( <u>1</u> )+	組合せ ②+③·	:6 +5)		
		鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角	鉛直	桁軸	桁直角
A 1	L	100%	0%	0%	0%	102%	-38%	9%	99%	12%	1%	25%	2%	-4%	9%	-2%	13%	251%	-20%	14%	276%	-18%	14%	259%	-21%	113%	251%	-20%	114%	276%	-18%	114%	259%	-21%
AI	R	100%	0%	0%	2%	96%	32%	14%	94%	-18%	1%	4%	0%	-7%	28%	-3%	22%	238%	6%	23%	242%	6%	24%	266%	2%	122%	238%	6%	123%	242%	6%	124%	266%	2%
D1	L	100%	0%	0%	-1%	-3%	-1%	-15%	-1%	7%	-1%	-2%	0%	7%	1%	2%	-23%	-4%	10%	-24%	-6%	10%	-25%	-3%	11%	77%	-4%	10%	76%	-6%	10%	75%	-3%	11%
PI	R	100%	0%	0%	1%	6%	10%	7%	9%	3%	1%	2%	0%	-4%	0%	1%	12%	20%	15%	12%	22%	15%	12%	20%	17%	112%	20%	15%	112%	22%	15%	112%	20%	17%
Бо	L	100%	0%	0%	-2%	2%	5%	-23%	2%	10%	-2%	1%	2%	12%	0%	2%	-37%	6%	20%	-39%	6%	21%	-39%	6%	21%	63%	6%	20%	61%	6%	21%	61%	6%	21%
PZ	R	100%	0%	0%	1%	-1%	14%	26%	-1%	9%	2%	0%	2%	-12%	0%	1%	40%	-2%	27%	43%	-3%	28%	43%	-2%	28%	140%	-2%	27%	143%	-3%	28%	143%	-2%	28%
D9	L	100%	0%	0%	-4%	-3%	0%	-24%	-4%	15%	-2%	-1%	2%	13%	0%	3%	-40%	-10%	22%	-42%	-11%	24%	-42%	-10%	25%	60%	-10%	22%	58%	-11%	24%	58%	-10%	25%
гэ	R	100%	0%	0%	4%	-5%	22%	25%	-6%	8%	2%	-1%	1%	-13%	-1%	2%	41%	-15%	34%	43%	-15%	36%	44%	-16%	37%	141%	-15%	34%	143%	-15%	36%	144%	-16%	37%
D4	L	100%	0%	0%	2%	-4%	4%	-24%	-6%	9%	-2%	-1%	1%	8%	-1%	1%	-34%	-13%	17%	-36%	-14%	18%	-36%	-14%	18%	66%	-13%	17%	64%	-14%	18%	64%	-14%	18%
Г4	R	100%	0%	0%	-3%	3%	11%	23%	3%	6%	2%	0%	1%	-7%	1%	1%	31%	7%	21%	33%	8%	22%	33%	8%	22%	131%	7%	21%	133%	8%	22%	133%	8%	22%
DE	L	100%	0%	0%	0%	2%	4%	-23%	3%	8%	-2%	0%	1%	10%	1%	2%	-35%	7%	16%	-37%	7%	17%	-37%	7%	18%	65%	7%	16%	63%	7%	17%	63%	7%	18%
10	R	100%	0%	0%	-1%	-5%	12%	23%	-4%	7%	2%	0%	1%	-9%	-1%	1%	33%	-11%	22%	35%	-11%	23%	35%	-12%	24%	133%	-11%	22%	135%	-11%	23%	135%	-12%	24%
P6	L	100%	0%	0%	-1%	-1%	-4%	-11%	-3%	3%	-1%	1%	0%	6%	-1%	1%	-18%	-5%	1%	-19%	-3%	1%	-19%	-6%	2%	82%	-5%	1%	81%	-3%	1%	81%	-6%	2%
10	R	100%	0%	0%	1%	-7%	7%	6%	-9%	1%	1%	-2%	0%	-4%	0%	1%	10%	-20%	8%	11%	-22%	7%	10%	-20%	8%	110%	-20%	8%	111%	-22%	7%	110%	-20%	8%
10	L	100%	0%	0%	3%	-86%	-27%	8%	-80%	9%	1%	-24%	2%	-7%	-5%	-1%	16%	-207%	-14%	17%	-231%	-12%	16%	-212%	-15%	116%	-207%	-14%	117%	-231%	-12%	116%	-212%	-15%
RZ	R	100%	0%	0%	6%	-81%	25%	14%	-76%	-10%	1%	-2%	1%	-10%	-26%	-2%	26%	-196%	10%	27%	-198%	10%	28%	-222%	8%	126%	-196%	10%	127%	-198%	10%	128%	-222%	8%



桁方向	終点方向が(+)
行直角方向	曲線内側方向が(+)
鉛直方向	上方向が(+)

# 図 2.7-16 符号の向き



図 2.7-17 【⑦組合せ2(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)】の水平反力発 生方向:CASE-3

図 2.7-18から図 2.7-24に温度を与えた各荷重ケースにおける変形図を示す。

水平方向は、②全体温度変化(全体+10℃)と③上下温度差(鋼床版+20℃)はともに、P1-P6 間の各径間で曲線の外側に膨らむような挙動となる。鉛直方向の挙動は、②全体温度変化:全体

(全部材)+10℃は、P3-P4 径間、P5-P6 径間で上に凸となるが、③上下温度差(鋼床版+20℃) は、P4-P5 径間、P6-A2 径間で上に凸となっており、挙動が異なる。また、④左右温度差(左ウ ェブ+15℃)および⑤左右温度差(右ウェブ+15℃)は、②全体温度変化(全体+10℃)と③上下 温度差(鋼床版+20℃)と比べて、鉛直方向も水平方向も変位は小さい。

⑥組合せ1(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃)、⑦組合せ2(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)、⑧組合せ3(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)では、水 平方向は、②全体温度変化(全体+10℃)および③上下温度差(鋼床版+20℃)と同様にP1-P6間 の各径間で曲線の外側に膨らむような挙動となるが、A1-P1径間、P6-A2径間では外側に膨らむ 挙動は確認できない。鉛直方向は、③上下温度差(鋼床版+20℃)と同様の挙動となっており、 P4-P5径間、P6-A2径間で上に凸となり、③上下温度差(鋼床版+20℃)の影響が大きいことが分 かる。

⑥組合せ1(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃)、⑦組合せ2(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ +
④左ウェブ+15℃)、⑧組合せ3(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)の水平方向の挙動は図2.6-43に示すひずみ計測結果より推定される挙動と比べると、P5-P6径間を除き一致する。P5(左)支承、P6(右)支承、A2(右)支承は応急対策を実施済であり、挙動の違いが生じた可能性が考えられる。鉛直方向の挙動は図2.6-42に示すひずみ計測結果より推定される挙動と一致する。



図 2.7-18 【②全体温度変化(全体+10°C)】の変形図: CASE-3



図 2.7-19 【③上下温度差(鋼床版+20°C)】の変形図: CASE-3



図 2.7-20 【④左右温度差(左ウェブ+15℃)】の変形図:CASE-3



図 2.7-21 【⑤左右温度差(右ウェブ+15℃)】の変形図:CASE-3



図 2.7-22 【⑥組合せ1(②全体+10°C + ③鋼床版+20°C)】の変形図:CASE-3



図 2.7-23 【⑦組合せ 2(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)】の変形図: CASE-3



図 2.7-24 【⑧組合せ3(②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)】の変形図: CASE-3

### 2.7.6 支圧板の応力計算

本橋の支承形式はピボットローラー支承であり、支承高が高いために生じる水平力からの偶力 により鉛直力が生じると考えられるため、橋軸方向拘束ばねモデル: CASE-3 により算出した支 承反力より、支圧板に生じる応力を算出した。対象は、固定支承である P3 支承より終点側(A2 側)で応急対策を実施していない P4 支承と、死荷重反力の大きい P5 支承とした。

支圧板に生じる鉛直反力は、図 2.7-25 の考え方により算出した。可動方向にローラーは2基 設置されているが、このうち、鉛直力が増加する押込み側に着目し、桁方向水平力に対しては、 支承高と支承中心位置からローラー位置までの水平距離より算出される鉛直力を付加すること とした。桁直角方向水平力に対しては、台形分布で算出した。

対象とする荷重ケースは、①死荷重、⑨組合せ4(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃)、 ⑩組合せ5(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)、⑪組合せ6(① 死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)とした。

表 2.7-11 および表 2.7-12 に温度影響により支圧板に生じる応力を示す。

P4 支承および P5 支承で同様の結果が得られており、水平力が作用する 3 ケースのうち、⑪組 合せ 6 (①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃)が最も大きな応力が発 生する結果となっているが、各荷重ケースで発生する支承反力に大きな差がないため、支圧板に 生じる応力にも大きな差はない。

今回の解析では、⑪組合せ 6 (①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ⑤右ウェブ+15℃) は、P4 支承の支圧板に発生する応力の最大値は、3,069N/mm<sup>2</sup>であり、死荷重の 2.35 倍となり、 P5 支承では、3,157N/mm<sup>2</sup>であり、死荷重の 2.37 倍となる。その他のケースでも同様の値となっ ていることから、支圧板には局所的には死荷重の 2.4 倍程度の鉛直方向応力が発生する可能性が あることが分かった。 【P4 右側支承】



【P5 右側支承】



図 2.7-25 水平力により生じる鉛直力 (P4、P5 右側支承)

対象橋脚			P4橋脚								
ケース			<ol> <li>①死荷重</li> <li>(死荷重のみ)</li> </ol>	⑨組合せ4 (①+②+③)	<ul><li>⑩組合せ5</li><li>(①+②+③+④)</li></ul>	<ul><li>①組合せ6</li><li>(①+②+③+⑤)</li></ul>					
	①死荷重		0	0	0	0					
世手の畑	②温度変化(全体+10℃)		_	0	0	0					
何里の組 合せ	③上下温度差(鋼床版+20	°C)	_	0	0	0					
ЦĊ	④左右温度差(左ウェブ+	15℃)	_	_	0	-					
	⑤左右温度差(右ウェブ+	15℃)	_	—	-	0					
	鉛直反力 P1	kN	6,624	8,702	8,819	8,802					
支承反力	桁軸方向反力 P2	kN	0	486	513	531					
	桁軸直角方向反力 P3	kN	0	1,366	1,437	1,441					
	荷重の偏心距離 e	m	0.000	0.057	0.059	0.058					
荷重の偏	B/6	m	0.141	0.141	0.141	0.141					
心距離	e <b 6台形分布,<br="">e≧B/6三角形分布</b>	_	等分布	台形分布	台形分布	台形分布					
底面におけ	る最大反力度	N /2	1,306	2,973	3,067	3,069					
<ol> <li>①に対す</li> </ol>	る比率)	N/ MM	(1.00)	(2.28)	(2.35)	(2.35)					
底面におけ	る最小反力度	N /2	1,306	1,271	1,267	1,289					
<ol> <li>(①に対す</li> </ol>	る比率)	N/ MM	(1.00)	(0.97)	(0.97)	(0.99)					

表 2.7-11 P4 支承の温度影響により支圧板に生じる応力: CASE-3

対象橋脚		P5橋脚				
ケース			<ol> <li>①死荷重</li> <li>(死荷重のみ)</li> </ol>	<ul><li>⑨組合せ4</li><li>(①+②+③)</li></ul>	⑩組合せ5 (①+②+③+④)	<ul><li>①組合せ6</li><li>(①+②+③+⑤)</li></ul>
荷重の組 合せ	①死荷重		0	0	0	0
	②温度変化(全体+10℃)		_	0	0	0
	③上下温度差(鋼床版+20℃)		_	0	0	0
	④左右温度差(左ウェブ+15℃)		_	_	0	-
	⑤左右温度差(右ウェブ+15℃)		_	_	-	0
支承反力	鉛直反力 P1	kN	7,542	9,235	9,376	9,344
	桁軸方向反力 P2	kN	0	755	784	820
	桁軸直角方向反力 P3	kN	0	1,541	1,616	1,637
荷重の偏 心距離	荷重の偏心距離 e	m	0.000	0.057	0.059	0.059
	B/6	m	0.158	0.158	0.158	0.158
	e <b 6台形分布,<br="">e≧B/6三角形分布</b>	_	等分布	台形分布	台形分布	台形分布
底面における最大反力度		$N/mm^2$	1,330	3,032	3,126	3,157
<ul><li>(①に対する比率)</li></ul>			(1.00)	(2.28)	(2.35)	(2.37)
底面における最小反力度		N / 2	1,330	1,431	1,433	1,447
(①に対する比率)		N/mm	(1.00)	(1.08)	(1.08)	(1.09)

### 2.7.7 支承部詳細解析(参考)

(1) 解析概要

支承部材に発生する応力を確認するため、支承部拘束を考慮した全体解析で算出した反力を用いて、支承部をソリッド要素とした支承部詳細モデルでの解析を行った。以下に解析概要を示し、 図 2.7-26 に支承モデルの概要を示す。

# <u>モデル化範囲</u>

- ・モデル化範囲は支承部のみ
- ・上部構造および下部構造はモデル化していない

# <u>要素</u>

- ・すべてソリッド要素でモデル化
- ・要素サイズは、一般部では 20mm 程度とした。ただし、ローラーと支圧板の接触部 では局部応力を評価するため、ヘルツの支圧幅より 3mm とした
- ※ヘルツの支圧幅:ローラーの弾性接触領域において支圧板に接触する幅(道路橋 支承便覧、昭和48年、日本道路協会)
- ・節点数は約73万個

# <u>材料構成則</u>

・弾性とし、一般的な鋼材の材料特性(E=210,000N/mm<sup>2</sup>、ポアソン比ν=0.3)

# <u>境界条件</u>

・上沓上面の節点は、集約し全体シェルモデルで得られた支承反力を入力

- ・ローラー-支圧板間の節点は、節点共有
- ・下沓下面の節点は、全自由度を拘束

## <u>荷重ケース</u>

- ・⑩組合せ5(①死荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃) ※全体解析で算出
- ・T 荷重(100kN)



### 図 2.7-26 支承部ソリッドモデル

### (2) 解析結果

全体モデルで算出した温度による作用力を支承部詳細モデルに与えることで、支承部材に発生 する応力を確認した。荷重ケースは、全体解析の結果で鉛直力の増加が大きい⑩組合せ5(①死 荷重 + ②全体+10℃ + ③鋼床版+20℃ + ④左ウェブ+15℃)とした。

上支圧板、下支圧板のミーゼス応力分布を図 2.7-27 に、主応力分布を図 2.7-28 に、鉛直方 向応力分布を図 2.7-29 に示す。上下支圧板の結果より、温度変化および温度差により、支圧 板とローラーとの接触部においては局所的に非常に大きな応力が発生することを確認できる。 また、図 2.7-30 に示すとおり、支圧板の主応力最大付近のコンターを確認すると、大きな圧 縮応力が生じており、その近傍に引張応力が生じることを確認した。支圧板毎に発生する鉛直 方向応力は、図 2.7-31 に示すとおり、支圧板毎ならびにローラーと接触する位置により違い があることが確認できる。今回の解析の限られた条件では、支圧板に発生する鉛直方向応力 は、PL③の端部で 4,000N/mm<sup>2</sup>となっており、局所的に、大きな圧縮応力が生じる。

一方で、図 2.7-32 に示すとおり T 荷重(100kN)を載荷したケースの鉛直力は、温度変化および温度差により生じる鉛直力よりも非常に小さい。



図 2.7-27 ミーゼス応力分布



# 図 2.7-28 主応力分布



(a)上支圧板(変形倍率:500倍)

(b)下支圧板(変形倍率:500倍)

# 図 2.7-29 鉛直方向応力分布



図 2.7-30 下支圧板の主応力最大付近の応力コンター







図 2.7-32 下支圧板の鉛直方向応力分布(荷重ケース: T 荷重 100kN 載荷)

### 2.7.8 考察

当初設計の支承条件(橋軸方向可動、直角方向固定)で数値解析を行った結果、橋軸方向を可 動とした橋軸方向可動モデル: CASE-1 では、橋軸方向に水平力は発生しないため、下部構造変位 が生じず、全体挙動調査結果と一致しなかったため、拘束状態であったと考えられる損傷前の状 態を再現できているとはいえない。

そのため、ローラーとガイド間の直角方向の遊間(ギャップ)を設定し、桁の伸縮によりロー ラーとガイドが接触するようにした直角方向ギャップ考慮モデル: CASE-2 での全体解析を行っ た。その結果、各支承部は同時に拘束されるのではなく、固定支承より遠い桁端部に近い下部構 造から拘束される傾向があった。また、支承の拘束に伴い、橋梁全体は複雑な変形モードを示す ことを確認した。ただし、解析の妥当性を、応急対策の影響が小さいと考えられる P4 橋脚の下 部構造変位で確認した結果、数値解析結果と現地計測結果は一致しなかった。これより、ローラ ーとガイドの接触前から橋軸方向にも拘束の影響があると考えられる。

そこで、支承部にギャップを設けず、橋軸方向に抵抗がある橋軸方向拘束ばねモデル: CASE-3として全体解析を実施した結果、P4橋脚の下部構造変位は解析値と現地計測結果で、他のモデルよりは近い値が得られたが、橋軸方向拘束ばねモデル: CASE-3 でも 3mm ほどの差があったため、実際には解析より拘束が強く、大きな支承反力が生じていた可能性がある。よって、ローラーとガイドの接触によらず、常に拘束の影響があると考えられる。

橋軸方向拘束ばねモデル: CASE-3 では、温度差および温度変化の影響により、水平方向だけで なく鉛直方向にも反力が発生することを確認した。本橋の支承形式はピボットローラー支承であ り、可動支承の支承高は 1.0m 程度と高く、そのために生じる水平力からの偶力も考慮すると、 支圧板には局部的に死荷重の 2.4 倍程度の鉛直力が作用する可能性がある。

また、参考までに実施した支承部をソリッドモデルとした詳細解析において、橋軸方向拘束ば ねモデルで算出した反力を作用させた結果、ローラーと支圧板の接触部に大きな応力が発生する ことを確認した。

なお、支圧板の割れなどの損傷が生じた箇所では、破損した支圧板の割れにローラーが固定さ れることが考えられ、その結果拘束が強くなり、損傷が進行したものと考えられる。

以上のことから、温度変化および温度差によりローラーと支圧板の接触部近傍に発生する大き な応力が、日々繰り返すため、損傷はいずれ生じるものであったと考えられる。なお、ローラー および支圧板の S-N 曲線について確立した知見はない。